

## **KAJIAN TEKNO EKONOMI PABRIK *FISCHER TROPSCH DIESEL* BERBASIS GASIFIKASI JANGGEL JAGUNG DI MADURA DAN SULAWESI SELATAN**

**Fitria Yulistiani, Prof. Herri Susanto, Dr. Tri Partono Adhi**  
Program Studi Teknik Kimia, FTI-ITB, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

### **Abstrak**

*Salah satu rute pemanfaatan biomassa yang sangat menjanjikan adalah gabungan teknologi gasifikasi dan sintesis Fischer Tropsch. Konversi energi ini dapat diarahkan untuk memproduksi hidrokarbon rantai panjang yang mirip solar atau minyak bakar untuk motor diesel. Suatu studi kasus untuk mengkaji potensi pemanfaatan teknologi gasifikasi dan Fischer-Tropsch telah disusun dengan mengambil janggel jagung sebagai bahan baku. Dua lokasi telah dipilih, yaitu Pulau Madura dan Kabupaten Bone (Sulawesi Selatan), terutama atas dasar ketersediaan biomassa dan faktor-faktor lainnya. Produksi janggel jagung di kedua daerah ini diperkirakan berturut-turut mencapai 324.761 dan 58.452 ton/tahun. Dengan ketersediaan biomassa di Madura tersebut, teknologi gasifikasi dan Fischer Tropsch diprediksi untuk dapat menghasilkan FT Fuel (sejenis solar) 55-58 juta liter/tahun, dan hasil samping listrik sebesar 200-400 GWh/tahun sebagai pemanfaatan offgas proses Fischer Tropsch. Evaluasi kelayakan ekonomi dilakukan dengan nilai dasar investasi yang banyak digunakan dalam kajian sejenis di Eropa. Nilai investasi ini dikoreksi dengan faktor-lokasi, dan mempertimbangkan kemampuan rancang bangun berbagai peralatan industri di Indonesia. Umumnya, nilai investasi beberapa unit proses penyusun sistem gasifikasi biomassa dan sintesis Fischer Tropsch di Indonesia lebih murah daripada yang di Eropa, kecuali katalis dan reaktor sintesis. Perhitungan kami menghasilkan nilai investasi untuk pabrik di Madura kira-kira Rp 4,2-trilyun, dengan IRR sebesar 16,01% dan waktu pengembalian modal 6,8 tahun. Sedangkan nilai investasi untuk pabrik di Sulawesi Selatan kira-kira Rp 1,4-trilyun, dengan IRR sebesar 12,70% dan waktu pengembalian modal 6,9 tahun.*

**Kata Kunci :** *janggel jagung, gasifikasi, Fischer Tropsch, Madura, Sulawesi Selatan*

### **1. Pendahuluan**

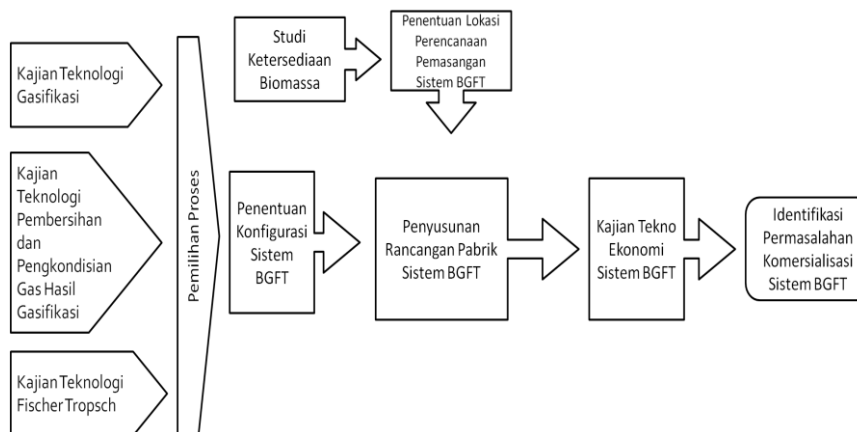
Pertambahan jumlah penduduk, kemajuan teknologi, dan peningkatan perekonomian menyebabkan peningkatan konsumsi energi di Indonesia. Namun peningkatan kebutuhan energi tersebut tidak diiringi dengan kestabilan harga dan pasokan energi yang mencukupi, sehingga memunculkan permasalahan keamanan ketersediaan energi. Selain itu, penggunaan energi fosil seperti minyak bumi, gas, dan batu bara juga memunculkan isu lingkungan terkait dengan emisi CO<sub>2</sub> dan pemanasan global. Kepedulian pemerintah Indonesia terhadap permasalahan-permasalahan di atas mendorong dikeluarkannya kebijakan pengurangan konsumsi bahan bakar fosil dan peningkatan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) yang dituangkan dalam bentuk sasaran bauran energi primer nasional. Biomassa bersama-sama dengan nuklir, air, surya, dan angin ditargetkan dapat mencapai 5% dari total sumber energi primer pada tahun 2025.

Salah satu jenis biomassa yang diproduksi di Indonesia adalah janggel jagung. Berdasarkan data Departemen Pertanian, pada tahun 2008 produksi jagung Indonesia mencapai 16 juta ton di area perkebunan seluas 4 juta hektar. Dari produksi jagung tersebut dihasilkan janggel jagung sebanyak 1 ton/hektar atau sekitar 4 juta ton. Salah satu rute konversi biomassa yang cukup menjanjikan adalah kombinasi antara gasifikasi biomassa dan sintesis *Fischer Tropsch* (GBFT). Biomassa digasifikasi kemudian produk gas yang telah dibersihkan digunakan dalam sintesis *Fischer Tropsch* (FT) untuk menghasilkan hidrokarbon rantai panjang yang kemudian dikonversikan menjadi diesel ramah lingkungan. Hasil samping dari sistem GBFT adalah listrik yang dibangkitkan dengan proses *combined cycle* menggunakan bahan baku gas buang. Penjualan listrik dapat meningkatkan pendapatan pabrik GBFT.

Sintesis FT dari gas hasil gasifikasi biomassa bukan merupakan hal baru dalam hal pengembangan teknologi pemanfaatan biomassa. Permasalahan utama yang dihadapi oleh peneliti biomassa di Indonesia adalah melimpahnya ketersediaan biomassa nasional namun hanya terkumpul dalam jumlah yang relatif kecil dan tersebar di Kabupaten/Kota. Selain itu, sistem GBFT merupakan teknologi yang terbilang mahal, namun diperkirakan bahwa produksi beberapa peralatan sistem GBFT di dalam negeri dapat mengurangi biaya investasi yang dibutuhkan. Oleh karena itu, dalam makalah ini akan diuraikan mengenai konfigurasi sistem GBFT yang cocok untuk diterapkan pada biomassa di Indonesia, pengaruh kemampuan rancang bangun berbagai peralatan proses di Indonesia terhadap pengurangan kebutuhan investasi sistem GBFT, dan kelayakan teknoekonomi implementasi sistem GBFT untuk saat ini dan jangka panjang, terutama terkait dengan kemampuan pengumpulan jenis biomassa di lokasi tertentu.

## 2. Pendekatan dan Metode Kajian

Metodologi yang digunakan dalam kajian ini diberikan pada Gambar I. Kajian diawali dengan review berbagai teknologi dalam sistem GBFT, mencakup teknologi gasifikasi, pembersihan dan pengkondisian gas hasil gasifikasi, dan sintesis FT. Hasil review tersebut digunakan untuk menentukan konfigurasi sistem GBFT. Selanjutnya dilakukan perhitungan neraca massa dan energi untuk konfigurasi sistem terpilih. Perhitungan neraca massa dan energi kemudian disesuaikan dengan lokasi dan ketersediaan umpan biomassa untuk menentukan kapasitas sistem GBFT. Selanjutnya dilakukan kajian tekno ekonomi untuk menentukan kelayakan teknik dan ekonomi pemasangan sistem GBFT. Kemudian dilakukan analisis sensitivitas terutama terkait dengan ketersediaan biomassa dan dilengkapi dengan identifikasi permasalahan komersialisasi sistem GBFT. Kajian diakhiri dengan kesimpulan mengenai kelayakan sistem GBFT di Indonesia.



Gambar I. Pendekatan dan Metode Kajian

## 3. Analisis Aplikasi Proses Fischer Tropsch terhadap Gas Hasil Gasifikasi Biomassa

Secara umum, sistem GBFT terdiri atas 4 (empat) sistem utama yaitu: Sistem Gasifikasi Biomassa; Sistem Pembersihan dan Pengkondisian Gas Sintesis; Sistem Sintesis FT; dan Sistem *Upgrading FT Fuel* dan Produksi Listrik. Terdapat beragam variasi kombinasi unit-unit operasi yang dapat diintegrasikan menjadi suatu sistem GBFT yang utuh. Akan tetapi tidak seluruh kombinasi yang ada layak untuk diterapkan baik dari segi efisiensi maupun kelayakan ekonomi, untuk itu perlu dilakukan kajian kelayakan integrasi sistem GBFT tersebut. Namun karena terdapat batasan waktu dalam melakukan kajian, tidak seluruh kombinasi konfigurasi tersebut dimodelkan untuk dikaji kelayakannya. Untuk itu dalam kajian ini dilakukan pemilihan konfigurasi proses.

Kandungan energi janggel jagung adalah 16,97 MJ/kg. Selain itu, janggel jagung juga memiliki kandungan air yang rendah (7%). Janggel jagung merupakan biomassa yang ketersediaannya cukup melimpah dan pemanfaatannya belum terlalu banyak. Jawa Timur sebagai provinsi yang memiliki produksi janggel jagung terbanyak di Indonesia merupakan salah satu lokasi yang dipertimbangkan untuk menjadi lokasi pendirian pabrik GBFT. Provinsi lainnya yang memiliki produksi janggel jagung cukup tinggi dan dipertimbangkan menjadi calon lokasi pendirian pabrik GBFT adalah Sulawesi Selatan.

Apabila dianalisis berdasarkan jumlah produksi janggel jagung, 3 Kabupaten/Kota yang memiliki produksi jagung terbesar di Provinsi Jawa Timur adalah: Kabupaten Sumenep, Sampang, dan Bangkalan. Ketiga Kabupaten tersebut berlokasi di Pulau Madura. Apabila digabungkan dengan Kabupaten yang juga berlokasi di Pulau Madura, yaitu Kabupaten Pamekasan, dapat diperoleh sekitar 324.761 ton janggel jagung setiap tahunnya. Apabila dianalisis berdasarkan jumlah produksi janggel jagung, 3 Kabupaten/Kota yang memiliki produksi jagung terbesar di Provinsi Sulawesi Selatan adalah: Kabupaten Bone, Jeneponto, dan Gowa. Ketiga Kabupaten tersebut memiliki lokasi yang berjauhan. Dari segi lokasi, Kabupaten yang letaknya berdekatan adalah Kabupaten Bone, Soppeng, dan Wajo. Apabila digabungkan, ketiga Provinsi tersebut dapat memproduksi 58.452 ton janggel jagung setiap tahunnya.

Kajian ini difokuskan untuk mendapatkan produk Fischer Tropsch semaksimal mungkin dengan listrik sebagai hasil samping sistem GBFT. Untuk itu dipilih sistem pemroses yang mendukung fokus tersebut. Analisis sistem GBFT dilakukan dengan kapasitas umpan biomassa 300.000 ton/tahun dan 55.000 ton/tahun. Analisis proksimat dan ultimat untuk janggel jagung telah dilakukan oleh beberapa peneliti di dunia. Analisis yang digunakan dalam perhitungan adalah analisis yang diperoleh dari Rajabhat Phranakhon University, Thailand. Karena kandungan air janggel jagung sudah berada di bawah 15% (berkisar antara 4-9%), tidak diperlukan lagi proses pengolahan awal berupa pengeringan.

Terkait dengan tujuan produksi tar yang rendah dan konversi yang tinggi, jenis reaktor gasifikasi yang dikaji adalah reaktor unggun terfluidakan (*circulated fluidized bed/CFB*). Sedangkan untuk jenis media gasifikasi dan kondisi operasi gasifier, dikaji berbagai kombinasi yang mendukung perolehan produk Fischer Tropsch semaksimal

mungkin dengan biaya yang ekonomis. Analisis proses gasifikasi dilakukan pada 3 kondisi tekanan yang berbeda yaitu tekanan 1 bar (atmosferik), 6 bar (intermediet), dan 25 bar (bertekanan), serta 3 jenis media gasifikasi yaitu udara (21% O<sub>2</sub>; 79% N<sub>2</sub>), udara kaya oksigen (80% O<sub>2</sub>; 20% N<sub>2</sub>), dan oksigen murni (95% O<sub>2</sub>; 5% N<sub>2</sub>). Sehingga dalam sistem gasifikasi dilakukan analisis untuk 9 variasi kondisi operasi dan media gasifikasi.

Proses gasifikasi menggunakan udara kaya oksigen dan oksigen murni dilengkapi dengan unit pemurnian udara. Proses gasifikasi intermediet dan bertekanan dilengkapi dengan kompresor oksigen yang memperoleh suplai energi dari turbin gas/turbin uap. Dalam perhitungan, laju udara diatur sedemikian rupa hingga konversi karbon dapat mencapai 95%. Untuk menyederhanakan perhitungan neraca massa dan energi, produk gasifikasi diasumsikan terdiri atas: H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (mewakili komponen BTX), C<sub>14</sub>H<sub>10</sub> (mewakili tar), dan N<sub>2</sub> (inert). Sebagaimana telah dijelaskan dalam Tinjauan Pustaka, Boerrigter dkk serta Milne dkk menyatakan bahwa reaktor unggun terfluidisasi menghasilkan tar sebanyak 1% berat umpan biomassa dan BTX sebesar 0,5% volume gas sintesis. Kedua parameter tersebut digunakan sebagai asumsi dalam perhitungan neraca massa gasifier.

Berdasarkan hasil perhitungan, gasifikasi yang dijalankan dengan media udara kaya oksigen dan udara campuran menghasilkan gas sintesis yang hanya mengandung sedikit gas N<sub>2</sub>. Konfigurasi yang menghasilkan komposisi gas H<sub>2</sub> paling banyak adalah konfigurasi ke-8, yaitu konfigurasi dengan sistem gasifikasi yang dijalankan pada tekanan 25 bar dengan menggunakan media gasifikasi berupa campuran udara dan udara kaya oksigen. Sedangkan konfigurasi yang menghasilkan komposisi gas CO paling banyak adalah konfigurasi ke-3, yaitu konfigurasi dengan sistem gasifikasi yang dijalankan pada tekanan 1,3 bar dengan menggunakan media gasifikasi berupa udara campuran.

Sistem pembersihan dan pengkondisian gas hasil gasifikasi terutama dilakukan untuk menghilangkan pengotor dan meningkatkan rasio komponen H<sub>2</sub> terhadap CO di dalam aliran gas sintesis agar sesuai dengan kebutuhan sintesis Fischer Tropsch. Berdasarkan analisis sistem gasifikasi, masih terdapat 2-4 %-mol pengotor organik berupa C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> dan C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>. Komponen tersebut dapat dipecah menjadi komponen dasar CO dan H<sub>2</sub> menggunakan sistem *tar cracker*. Sistem *tar cracker* selain dapat menghilangkan komponen tar juga dapat meningkatkan jumlah komponen CO dan H<sub>2</sub> di dalam aliran gas.

Jenis pengotor lainnya yang berbentuk partikulat dihilangkan menggunakan siklon. Sedangkan untuk meningkatkan rasio H<sub>2</sub>/CO di dalam aliran gas sintesis, sistem yang dipilih untuk dikaji adalah sistem reaksi pergeseran air (*water gas shift reaction*). Hal tersebut disebabkan proses gasifikasi yang dilakukan menggunakan agen udara/O<sub>2</sub> menghasilkan sedikit CH<sub>4</sub> sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan proses *autothermal reforming* ataupun *steam reforming*. Perhitungan neraca massa dilakukan untuk sistem *shift reaction* dengan target rasio H<sub>2</sub>/CO = 2. Dari segi kesetimbangan, *shift reaction* merupakan reaksi dengan jumlah koefisien reaksi = 0, sehingga perbedaan tekanan tidak akan mempengaruhi kesetimbangan.

Gas keluaran *shift reactor* kemudian dilewatkan ke sistem penghilangan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Mengacu pada hasil penelitian Hamelinck dkk., dilakukan penghilangan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O menggunakan sistem *Pressure Swing Adsorption* (PSA). Sistem ini terdiri atas 2 tahap adsorpsi dan desorpsi. Sistem adsorpsi dan desorpsi yang pertama dapat menghilangkan 100% CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Sedangkan sistem tahap kedua digunakan untuk memisahkan 16% gas H<sub>2</sub> yang diperlukan dalam sistem *hydrocracking*. Komposisi gas keluaran sistem PSA merupakan gas yang diumpankan ke dalam reaktor Fischer Tropsch.

Berdasarkan hasil studi Bartholomew (1990) dan Schulz (1990), secara umum reaktor *slurry* merupakan reaktor yang paling efisien dan ekonomis untuk sintesis FT yang menggunakan bahan baku gas hasil gasifikasi. Sedangkan jenis katalis yang dipilih untuk digunakan dalam kajian adalah katalis Co, karena katalis ini dapat memberikan nilai  $\alpha$  yang lebih tinggi dibandingkan katalis Fe. Sehingga dapat diprediksikan bahwa dapat dihasilkan produk rantai panjang yang lebih banyak dan menyebabkan perolehan produk FT yang lebih banyak pula.

Berdasarkan hasil perhitungan, umpan reaksi Fischer Tropsch untuk konfigurasi dengan sistem gasifikasi yang menggunakan media udara kaya oksigen dan udara campuran memiliki komposisi CO + H<sub>2</sub> di atas 90%. Sedangkan konfigurasi dengan sistem gasifikasi bermedia udara memiliki komposisi CO + H<sub>2</sub> antara 39-40,3%. Kehadiran inert tidak mengganggu jalannya reaksi, namun dapat mengurangi tekanan parsial reaktan. Peningkatan perolehan produk FT dapat dilakukan melalui unit *hydrocracking*. H<sub>2</sub> yang dibutuhkan untuk proses *hydrocracking* diperoleh dari unit reaksi pergeseran H<sub>2</sub> yang kemudian dipisahkan menggunakan sistem PSA B. Reaksi *hydrocracking* dijalankan dengan komponen H<sub>2</sub> sebagai pembatas reaksi. Oleh karena itu dalam kajian ini tidak dilakukan penambahan unit produksi H<sub>2</sub> lainnya selain unit *shift reactor*. Dari Tabel 1. dapat dilihat bahwa konfigurasi yang menghasilkan produk Diesel FT paling banyak adalah konfigurasi 4 (tekanan gasifikasi 6 bar dan media gasifikasi udara) dan konfigurasi 7 (tekanan gasifikasi 25 bar dan media gasifikasi udara). Selain itu secara umum sistem gasifikasi yang menggunakan media udara dapat menghasilkan Diesel FT yang lebih besar dibandingkan dengan sistem yang menggunakan media lainnya.

Produk ringan dari sistem sintesis FT dan gas sisa masih memiliki kandungan energi yang dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik melalui sistem *combined cycle*. Hasil perhitungan produksi listrik untuk masing-masing konfigurasi dapat dilihat dalam Tabel 1. Berdasarkan hasil perhitungan dalam Tabel 1. konfigurasi yang menghasilkan listrik paling banyak untuk dijual kembali adalah konfigurasi 7 (tekanan gasifikasi 25 bar dan

media gasifikasi udara). Selain itu secara umum sistem gasifikasi yang dilakukan menggunakan media gasifikasi udara menghasilkan listrik lebih besar dibandingkan sistem yang menggunakan media lainnya.

**Tabel 1. Produksi FT Diesel dan Listrik sistem GBFT**

No	Konfigurasi	Produksi	
		FT Fuel (kL/tahun)	Listrik (GWh)
1	Konfigurasi-1	57.987	330
2	Konfigurasi-2	55.691	203
3	Konfigurasi-3	55.834	212
4	Konfigurasi-4	58.939	305
5	Konfigurasi-5	56.249	207
6	Konfigurasi-6	56.291	214
7	Konfigurasi-7	58.900	409
8	Konfigurasi-8	55.843	258
9	Konfigurasi-9	55.945	268

#### 4. Hasil dan Pembahasan: Analisis Biaya Peralatan Sistem GBFT Menggunakan Basis Harga Lokal

Biaya peralatan sistem GBFT diharapkan masih dapat berkurang apabila peralatan dalam sistem tersebut dapat dibuat di dalam negeri. Hamelinck (2003) memberikan harga untuk beberapa peralatan di Eropa. Sedangkan harga beberapa peralatan yang dapat diproduksi di dalam negeri dapat dilihat dalam Tabel 2. Untuk peralatan lainnya, harga peralatan ditentukan menggunakan estimasi. Sistem penyiapan umpan GBFT terdiri atas penyimpanan umpan, konveyor, perangkat penggiling umpan, dan pengumpanan. Harga perangkat konveyor dan penggiling umpan disampaikan dalam Tabel 2. Konveyor dan penggiling umpan memiliki kapasitas yang sama untuk semua konfigurasi. Perbandingan harga lokal dan harga internasional untuk konveyor dan penggiling umpan diberikan dalam Tabel 3.

**Tabel 2. Harga Lokal Beberapa Peralatan di Indonesia**

Sumber: BLH Kab Banjar, 2009; PT. Cans Agrinusa, 2010

Alat	1	2	3	4
Basis Harga (Juta rupiah)	124	150	9	1
Faktor	0,8	0,6	0,75	0,85
Basis Skala	1,52	1	0,009	0,012
Satuan skala	ton basah / jam	ton basah / jam	ton O <sub>2</sub> / hari	kW

1. Konveyor
2. Penggiling
3. Unit Pemisahan Udara
4. Kompresor Oksigen

**Tabel 3. Perbandingan Harga Lokal dan Internasional untuk Konveyor dan Penggiling Umpan**

Peralatan	Konveyor	Penggiling Umpan
Skala (ton/jam)	37,5	37,5
Harga Internasional <sup>a</sup> (Trilyun Rupiah)	5,8	6,7
Harga Lokal <sup>b</sup> (Trilyun Rupiah)	1,6	1,3
Pengurangan Harga	72%	80%

<sup>a</sup> Diolah dari Hamelinck, 2003

<sup>b</sup> Diolah dari data BLH Kab Banjar, 2009 dan PT. Cans Agrinusa, 2010

Berdasarkan olahan data dalam Tabel 3, terdapat pengurangan biaya sebesar 72% dan 80% apabila peralatan konveyor dan penggiling umpan tersebut dibuat di dalam negeri. Begitu pula halnya dengan peralatan lainnya. Apabila seluruh peralatan dapat dibuat di dalam negeri maka biaya investasi yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik GBFT di Indonesia dapat dikurangi. Kedua perangkat penyiapan umpan lainnya yaitu penyimpanan dan pengumpanan merupakan perangkat sederhana yang juga dapat diproduksi di dalam negeri sehingga biaya pembelian kedua peralatan tersebut dapat dikurangi. Pengurangan biaya untuk kedua perangkat tersebut diestimasi menggunakan rata-rata pengurangan biaya konveyor dan penggiling umpan, yaitu 76%. Sistem gasifikasi lokal yang tersedia secara komersial saat ini adalah gasifier dengan jenis *fixed bed*. Unit gasifikasi *fixed bed* dengan kapasitas 100 kW tersedia dengan harga Rp 200.000.000. Apabila umpan yang digunakan adalah jagung, maka umpan yang dibutuhkan untuk menghasilkan 100 kW listrik adalah sebesar 52 kg/jam.

Di luar negeri unit gasifikasi *fixed bed* berskala 100 ton umpan/jam dijual dengan harga Rp 100 milyar (\$10 juta)<sup>1</sup>. Apabila dihitung menggunakan harga yang diberikan dalam Hamelinck (2003), biaya yang diperlukan untuk pembelian unit gasifikasi *circulated fluidized bed* berskala 68,8 ton/jam adalah sebesar Rp 575,9 milyar. Untuk skala yang sama dengan unit *fixed bed gasifier*, biaya untuk unit CFB adalah sebesar Rp 748,2 milyar. Sehingga harga CFB adalah 7,48 kali harga *Fixed Bed Gasifier*. Perbedaan tersebut digunakan untuk mengestimasi harga CFB

<sup>1</sup> [http://www.woodgas.com/small\\_gasifiers.htm](http://www.woodgas.com/small_gasifiers.htm)



apabila dibuat di dalam negeri. Hasil estimasi harga CFB gasifier berkapasitas 100 kW (52 kg umpan/jam) apabila dibuat di dalam negeri adalah Rp 1,5 milyar. Perbandingan harga internasional dan hasil estimasi harga lokal CFB gasifier diberikan dalam Tabel 4. Sehingga apabila CFB Gasifier dibuat di dalam negeri, biayanya dapat dikurangi hingga 60,2%.

**Tabel 4. Perbandingan Harga Lokal dan Internasional CFB Gasifier**

Peralatan	CFB Gasifier
Skala (ton/jam)	37,5
Harga Internasional <sup>a</sup> (Juta Rupiah)	376.580
Harga Lokal (Juta Rupiah)	149.814
Pengurangan Harga	60,2%

<sup>a</sup> Diolah dari Hamelinck, 2003

Unit selanjutnya dalam sistem gasifikasi adalah kompresor oksigen. Unit ini sudah tersedia di dalam negeri dengan harga Rp 1.400.000 dengan daya 125 HP (11,63 Watt). Sehingga pembuatan unit kompresor oksigen di dalam negeri dapat mengurangi biaya hingga 16,6%. Selain unit gasifier, sistem gasifikasi juga dilengkapi dengan unit pemurnian udara untuk konfigurasi yang menggunakan oksigen murni sebagai media gasifikasi. Unit pemisahan udara yang digunakan adalah sistem *Pressure Swing Adsorption* yang mampu memisahkan nitrogen hingga diperoleh oksigen dengan kemurnian 95%. Harga internasional untuk unit pemisahan udara berkapasitas 576 ton O<sub>2</sub>/hari adalah Rp 355,6 milyar.

Di Indonesia terdapat unit pemurnian udara yang tersedia secara komersial dengan harga Rp 8.900.000 untuk kapasitas 5 Liter O<sub>2</sub>/menit atau 9,3 kg O<sub>2</sub>/hari. Sehingga dari segi kapasitas saja, pembuatan unit pemurnian udara di dalam negeri dapat menghemat biaya sebesar 89,9%. Namun kapasitas unit yang tersedia di Indonesia masih terlalu kecil untuk dibandingkan dengan unit pemurnian udara yang tersedia di luar negeri. Selain itu, komponen absorben yang digunakan dalam unit PSA hingga saat ini belum dapat diproduksi di dalam negeri. Sehingga apabila unit ini akan dibuat di dalam negeri dengan tetap membeli komponen absorben di luar negeri, pengurangan harga alat diperkirakan menggunakan pengurangan harga kompresor oksigen, yaitu sebesar 16,6%.

Sistem pembersihan gas sintesis dalam pabrik GBFT terdiri atas sistem siklon, *tar cracker*, *heat exchanger* temperatur tinggi, dan *guard beds* berisikan karbon aktif dan ZnO. Sistem siklon di Eropa memiliki harga sekitar Rp 39 milyar untuk skala 34,2 m<sup>3</sup> gas/detik. Siklon dalam pabrik GBFT merupakan siklon pemisah gas dengan bahan padat yang konstruksinya relatif sederhana. Sehingga diperkirakan dapat diproduksi di dalam negeri dengan faktor pengurangan harga yang sama dengan unit gasifier, yaitu 60,2%. Sementara itu, unit *tar cracker* merupakan sebuah reaktor yang harganya diestimasi menggunakan faktor pengurangan harga yang sama dengan unit kompresor oksigen, yaitu sebesar 16,6%. Apabila dibuat di dalam negeri, harga *Heat Exchanger* temperatur tinggi dan *guard beds* juga diperkirakan dapat dikurangi hingga 16,6%.

Sistem pemrosesan gas sintesis terdiri atas kompresor, reaktor pergeseran, dan sistem *Pressure Swing Adsorption*. Harga unit kompresor diestimasi menggunakan pengurangan harga kompresor oksigen yaitu sebesar 16,6%. Sedangkan sistem *Pressure Swing Adsorption* diestimasi menggunakan faktor pengurangan harga unit pemurnian udara, yaitu 16,6%. Sementara besar pengurangan harga untuk unit reaktor pergeseran diestimasi sama dengan *tar cracker*, yaitu sebesar 16,6%. Sistem produksi FT Fuel dan Listrik terdiri atas reaktor FT, *Hydrocracker*, Steam Turbin dan sistem Steam, serta Expansion Turbin. Untuk reaktor FT, secara komersial belum pernah diproduksi di Indonesia, begitu pula perangkat pendukungnya seperti katalis. Namun apabila reaktor tersebut dibangun di Indonesia, diperkirakan terdapat pengurangan harga hingga 16,6%. Sedangkan untuk *hydrocracker*, perangkat serupa sudah banyak digunakan di industri pengilangan minyak bumi. Oleh karena itu diestimasi harga perangkat *hydrocracker* dapat dikurangi sebesar 16,6%. Sementara harga sistem turbin gas dan turbin uap diperkirakan juga dapat dikurangi sebesar 16,6%. Berdasarkan estimasi-estimasi yang telah diuraikan dalam sub bab sebelumnya, total biaya peralatan dalam sistem GBFT dapat ditentukan. Perbandingan total biaya peralatan yang dihitung menggunakan harga lokal dan harga internasional disampaikan dalam Tabel 5.

**Tabel 5. Biaya Total Peralatan Sistem GBFT**

No	Konfigurasi	Harga Peralatan Sistem GBFT (Trilyun Rupiah)		
		a	b	Pengurangan Harga
1	Konf-1	2,112	1,546	26,8%
2	Konf-2	1,770	1,270	28,2%
3	Konf-3	1,849	1,336	27,7%
4	Konf-4	2,025	1,495	26,2%
5	Konf-5	1,666	1,199	28,1%
6	Konf-6	1,754	1,271	27,5%
7	Konf-7	1,998	1,477	26,0%
8	Konf-8	1,622	1,165	28,2%
9	Konf-9	1,710	1,239	27,6%

<sup>a</sup> Harga Internasional, diolah dari Hamelinck, 2003

<sup>b</sup> Harga lokal, hasil gabungan perkiraan harga masing-masing unit pemroses

Perhitungan dilanjutkan dengan menentukan biaya *bare module* menggunakan basis biaya peralatan. Perhitungan biaya *bare module* dilakukan dengan memasukkan faktor material tambahan (perpipaan, insulasi, dsb.), pekerja pemasangan peralatan, transportasi, asuransi, pajak, biaya *overhead* konstruksi, dan biaya *engineering* konstruksi. Faktor pengali yang digunakan untuk menentukan biaya *bare module* adalah 2. Sedangkan biaya kontingensi dan kontraktor diperkirakan sebesar 10% dari biaya *bare module* dan biaya fasilitas tambahan (pembelian tanah dll.) diperkirakan sebesar 35% dari biaya modul. Dengan menggunakan faktor-faktor pengali di atas, total kebutuhan biaya kapital (biaya investasi) pendirian pabrik GBFT diberikan dalam Tabel 6. Berdasarkan uraian dalam Tabel 6, terlihat bahwa pembuatan peralatan di dalam negeri dapat mengurangi biaya investasi antara 25,2%-27,3%. Tabel yang sama juga menunjukkan bahwa konfigurasi yang memiliki biaya investasi paling rendah adalah konfigurasi-8 (konfigurasi dengan sistem gasifikasi yang dilakukan pada tekanan 25 bar menggunakan media udara kaya oksigen). Namun apabila dilihat dari produksi FT fuel dan listrik, konfigurasi-4 unggul dalam hal produksi FT Fuel sedangkan konfigurasi-7 unggul dalam hal produksi listrik. Oleh karena itu selanjutnya akan dilakukan analisis biaya produksi dan kelayakan ekonomi untuk konfigurasi-4, 7, dan 8.

**Tabel 6. Biaya Investasi Sistem GBFT**

No	Konfigurasi	A	B	C	D	E
1	Konf-1	58,0	329,6	6,1	4,5	26%
2	Konf-2	55,7	202,7	5,1	3,7	27%
3	Konf-3	55,8	212,3	5,3	3,9	27%
4	Konf-4	58,9	304,6	5,8	4,3	25%
5	Konf-5	56,2	206,9	4,8	3,5	27%
6	Konf-6	56,3	214,3	5,0	3,7	27%
7	Konf-7	58,9	409,4	5,7	4,3	25%
8	Konf-8	55,8	258,4	4,6	3,4	27%
9	Konf-9	55,9	268,5	4,9	3,6	27%

- A. Produksi FT Fuel (juta liter / tahun)
- B. Produksi Listrik (GWh)
- C. Investasi Internasional (Trilyun Rupiah), diolah dari Hamelinck (2003)
- D. Investasi Lokal (Trilyun Rupiah), perkiraan untuk beberapa peralatan tertentu
- E. Penghematan Biaya

Biaya Produksi Diesel FT dan Listrik dihitung untuk konfigurasi-4, 7, dan 8 dengan menggunakan biaya investasi yang telah dihitung menggunakan basis harga lokal untuk beberapa unit pemroses. Harga jagung yang digunakan dalam perhitungan adalah Rp 300/kg, biaya transportasi Rp 3.000/ton/km, dan harga air Rp 1.500/m<sup>3</sup>. Hasil perhitungan biaya produksi Diesel FT dan Listrik disampaikan dalam Tabel 7. Dalam Tabel 7. dapat dilihat bahwa FT Diesel dapat diproduksi dengan lebih murah apabila sistem GBFT dijalankan menggunakan konfigurasi 8, namun biaya produksi listrik paling murah dapat dicapai menggunakan konfigurasi 7. Penggunaan gas buang untuk membangkitkan listrik menyebabkan biaya produksi listrik menjadi sangat rendah. Hal tersebut disebabkan tidak diperlukan bahan bakar untuk pembangkit listrik seperti halnya pada pembangkit listrik berbahan bakar diesel. Oleh karena itu secara umum apabila investasi dan modal kerja dikeluarkan menggunakan modal sendiri dan tanpa memperhitungkan pajak dan keuntungan, FT Diesel dapat dijual dengan harga serendah-rendahnya Rp 4.846 /L sedangkan listrik dapat dijual dengan harga Rp 195 /kWh. Selanjutnya perhitungan keekonomian pendirian pabrik GBFT dilakukan untuk konfigurasi 4, 7, dan 8. Beberapa parameter yang dijadikan asumsi dalam perhitungan keekonomian pabrik GBFT diberikan dalam Tabel 8.

**Tabel 7. Biaya Produksi Diesel FT dan Listrik**

No	Karakteristik Biaya Produksi	Konfigurasi		
		4	7	8
1	Biaya Produksi FT Fuel			
	Harga Internasional <sup>a</sup> (Rp/L)	5.957	5.783	5.822
	Harga Lokal (Rp/L)	5.035	4.927	4.846
	Selisih	15,5%	14,8%	16,8%
2	Biaya Produksi Listrik			
	Harga Internasional <sup>a</sup> (Rp/kWh)	300	240	233
	Harga Lokal (Rp/kWh)	234	184	195
	Selisih	22,2%	23,2%	16,3%

Dengan menggunakan asumsi-asumsi dalam Tabel 8, diperoleh hasil perhitungan keekonomian pabrik GBFT yang diberikan dalam Tabel 9. Berdasarkan hasil perhitungan dalam Tabel 9, untuk umur pabrik 20 tahun dan kapasitas umpan 300.000 ton/tahun, investasi paling cepat dapat dikembalikan dalam jangka waktu 6,78 tahun.

Jangka waktu pengembalian modal yang paling cepat dapat dicapai untuk sistem GBFT yang menggunakan konfigurasi-7. Untuk konfigurasi yang sama, IRR yang dapat dicapai lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi lainnya, yaitu sebesar 16,01%.

**Tabel 8. Asumsi-asumsi yang digunakan**

No	Asumsi yang digunakan
1	Biaya investasi yang digunakan dalam perhitungan adalah biaya investasi yang mempertimbangkan pembuatan peralatan di dalam negeri (dihitung menggunakan harga lokal);
2	Umur pabrik adalah 20 tahun;
3	Nilai <i>discounted factor</i> yang digunakan untuk memperkirakan nilai uang di masa mendatang adalah 12,5%;
4	Dibutuhkan modal kerja untuk 4 bulan pertama pengoperasian pabrik GBFT;
5	Bunga pinjaman bank adalah 12,5%;
6	Pinjaman investasi sebesar 70% dari total kebutuhan biaya investasi;
7	Pinjaman modal kerja sebesar 100% dari total kebutuhan biaya modal kerja;
8	Harga jual Diesel FT adalah Rp 7.500/L;
9	Harga jual listrik = Rp 1.500/kWh;
10	Penjualan bahan bakar berbasis energi terbarukan dikenai pajak 30%
11	<i>Salvage Value</i> = 0

**Tabel 9. Keekonomian pabrik GBFT**

No	Karakteristik Biaya Produksi	Konfigurasi		
		4	7	8
1	IRR	5,91%	16,01%	10,76%
2	NPV (milyar rupiah)	732,4	1.675,5	969,9
3	Rata-rata ROI	6,87%	9,72%	8,38%
4	PBP (tahun)	10,6	6,8	8,0

Analisis perubahan kapasitas pabrik GBFT dimaksudkan untuk melihat kemungkinan pendirian pabrik GBFT di lokasi yang berbeda dengan besaran umpan biomassa yang berbeda. Besaran umpan biomassa yang akan dianalisis adalah produksi biomassa janggel jagung di 3 Kabupaten di Sulawesi Selatan yaitu Bone, Soppeng, dan Wajo, yaitu sebesar 55.000 ton/tahun. Analisis keekonomian Pabrik GBFT berkapasitas umpan 55.000 ton/tahun dilakukan untuk sistem GBFT konfigurasi 4, 7, dan 8. Hasil analisis keekonomian untuk pabrik GBFT berkapasitas 55.000 ton/tahun yang dihitung menggunakan asumsi dalam Tabel 8 diberikan dalam Tabel 10.

**Tabel 10. Keekonomian Pabrik GBFT 55.000 ton biomassa/tahun**

No	Karakteristik Biaya Produksi	Konfigurasi		
		4	7	8
1	IRR	9,64%	12,70%	2,94%
2	NPV (milyar rupiah)	367,1	538,7	94,7
3	Rata-rata ROI	8,02%	9,61%	5,82%
4	PBP (tahun)	8,6	6,9	11,3

Berdasarkan hasil perhitungan dalam Tabel 10, seperti halnya pabrik berkapasitas 300.000 ton/tahun, konfigurasi yang paling unggul secara ekonomi untuk pabrik berkapasitas 55.000 ton/tahun adalah konfigurasi-7. Sehingga keekonomian konfigurasi-7 untuk kedua calon lokasi pendirian pabrik dapat dibandingkan seperti dalam Tabel 11. Berdasarkan analisis dalam Tabel 11, pabrik dengan kapasitas 55.000 ton biomassa/tahun (Sulawesi Selatan) memiliki IRR 12,7%, kurang ekonomis jika dibandingkan dengan kapasitas 300.000 ton biomassa/tahun (Madura).

**Tabel 11. Perbandingan Keekonomian Pabrik GBFT di Sulawesi Selatan dan Madura**

No	Kriteria	Sulawesi Selatan	Madura
1	Kapasitas Umpan Biomassa (ton/tahun)	55.000	300.000
2	Produksi FT Fuel (kL/tahun)	10.808	58.900
3	Produksi Listrik (GWh/tahun)	160	409
4	Biaya Peralatan (trilyun Rupiah)	0,49	1,48
5	Biaya Investasi (trilyun Rupiah)	1,41	4,29
6	Biaya Produksi FT Fuel (Rp/L)	6.505	4.927
7	Biaya Produksi Listrik (Rp/kWh)	172	184
8	IRR (%)	12,7%	16,01%
9	NPV 20 tahun (trilyun Rupiah)	0,54	1,68
10	Rata-rata ROI (%)	9,6%	9,72%

11	PBP (tahun)	6,9	6,8
----	-------------	-----	-----

Secara umum, sistem GBFT berkapasitas umpan 300.000 ton/tahun lebih layak didirikan secara ekonomi. Namun kelayakan tersebut baru dapat dicapai dengan harga jual Diesel FT sebesar Rp 7.500/L dan listrik Rp 1.500/kWh. Biaya minimum produksi Diesel FT melalui sistem GBFT adalah Rp 5.301/L. Biaya tersebut untuk jangka waktu saat ini belum dapat bersaing dengan harga diesel komersial yaitu Rp 4.500/L. Namun untuk produksi listrik, biaya produksi dari sistem GBFT sudah dapat menyaingi biaya produksi listrik PLN (12 cent/kWh).

Biaya produksi Diesel FT baru dapat bersaing dengan harga diesel berbasis fosil apabila *clean development mechanism* dapat diterapkan. Sehingga komposisi pengurangan CO<sub>2</sub> akibat penggunaan diesel FT dapat memperoleh insentif tambahan yang menyebabkan produk diesel komersial menjadi lebih mahal. Untuk jangka waktu yang lebih panjang, apabila sistem insentif penggunaan energi terbarukan sudah cukup matang dan subsidi energi berbasis fosil sudah berkurang atau bahkan sudah dihilangkan, biaya produksi Diesel FT dapat bersaing dengan biaya produksi diesel dari bahan bakar fosil.

Selain itu, berdasarkan Rancangan Peraturan Pemerintah mengenai Energi Baru dan Terbarukan<sup>2</sup>, terdapat insentif bagi penjualan energi yang berbasis energi baru dan terbarukan terutama dalam bentuk pengurangan pajak. Apabila dalam jangka waktu beberapa tahun ke depan RPP tersebut sudah diresmikan menjadi PP dan instrumen kebijakan yang ada sudah dijalankan, pengurangan pajak dapat mengurangi harga jual produk GBFT. Pengaruh perubahan pajak penjualan terhadap harga jual bahan bakar diesel FT dan listrik diberikan dalam Tabel 12. Dari Tabel 12 dapat dilihat bahwa apabila insentif penggunaan EBT berupa pengurangan pajak penjualan sudah dijalankan, harga jual FT Fuel dapat ditekan hingga Rp 6.931/L dan listrik Rp 1.386/kWh. Dengan harga jual tersebut, parameter keekonomian pabrik GBFT yaitu IRR sebesar 16,01% masih dapat dipertahankan.

**Tabel 12. Pengaruh perubahan pajak penjualan terhadap harga jual bahan bakar diesel FT dan listrik (IRR = 16,01%)**

No	Pajak Penjualan	Harga Jual FT Fuel (Rp/L)	Harga Jual Listrik (Rp/kWh)
1	30%	7.500	1.500
2	25%	7.395	1.479
3	20%	7.295	1.459
4	15%	7.199	1.440
5	10%	7.106	1.421
6	5%	7.017	1.403
7	0%	6.931	1.386

Investasi terendah yang diperlukan untuk mendirikan pabrik GBFT berkapasitas umpan 300.000 ton/tahun mencapai Rp 3,3 trilyun. Sehingga yang menjadi kendala utama bagi pengembangan dan komersialisasi teknologi GBFT di Indonesia adalah besarnya investasi yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik tersebut.

Kendala lain terkait dengan pengembangan dan komersialisasi teknologi GBFT adalah harga sumber energi lain yang relatif lebih rendah dibandingkan harga produksi FT Diesel. Hal tersebut terutama disebabkan masih adanya sistem subsidi bahan bakar fosil di Indonesia, yang menyebabkan harga FT Diesel belum dapat bersaing dengan harga diesel komersial yang diproduksi dari minyak bumi. Apabila penentuan biaya energi sudah dapat memperhitungkan aspek lingkungan (terdapat insentif untuk selisih produksi gas rumah kaca dari pemrosesan energi terbarukan terhadap pemrosesan energi fosil), biaya produksi FT Diesel diharapkan menjadi lebih murah dibandingkan produksi diesel dari minyak bumi. Selain itu di Indonesia penggunaan komponen dalam negeri masih rendah. Padahal apabila semakin banyak peralatan pemrosesan dalam sistem GBFT yang dapat diproduksi di dalam negeri, biaya investasi dapat ditekan menjadi lebih rendah lagi.

## 5. Kesimpulan

Sistem GBFT terdiri atas sistem penyiapan umpan, sistem gasifikasi, sistem pembersihan gas, sistem pemrosesan gas sintesis, serta sistem produksi FT Fuel dan Listrik. Apabila peralatan untuk sistem-sistem tersebut diproduksi di dalam negeri, biaya investasi dapat dikurangi hingga sebesar 25,2-27,3%. Sistem GBFT cocok diterapkan di Indonesia terutama di Pulau Madura, karena ketersediaan janggel jagung yang cukup besar yaitu 300.000 ton/tahun. Selain itu, sistem GBFT juga dapat diterapkan di Sulawesi Selatan, khususnya Kabupaten Bone, Wajo, dan Soppeng karena tersedia janggel jagung sebanyak 55.000 ton/tahun.

Konfigurasi yang cocok untuk mengolah janggel jagung tersebut menjadi Diesel FT adalah sistem GBFT yang menerapkan sistem gasifikasi pada tekanan 25 bar menggunakan media udara. Sistem dengan umpan 300.000 ton/tahun dapat menghasilkan 58,9 juta liter Diesel FT/tahun dan 409 GWh listrik/tahun. Investasi yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik GBFT dengan konfigurasi tersebut adalah Rp 4,29 trilyun (dengan komposisi 70% pinjaman bank dan 30% modal sendiri) dan modal kerja selama 4 bulan sebesar Rp 52,92 milyar (100% pinjaman

<sup>2</sup> Direktorat Energi dan Teknologi Informasi Bappenas, 2009



bank). Apabila Diesel FT dapat dijual dengan harga Rp 7.500/L dan listrik dengan harga Rp 1.500/kWh, investasi tersebut memiliki nilai IRR sebesar 16,01% dan NPV setelah 20 tahun sebesar Rp 1,7 trilyun. Investasi dapat dikembalikan setelah 6,8 tahun.

Sistem GBFT dengan konfigurasi yang sama juga dapat dibangun di Kabupaten Bone untuk kapasitas 55.000 ton umpan biomassa/tahun. Investasi yang dibutuhkan untuk kapasitas 55.000 ton umpan biomassa/tahun adalah Rp 1,4 trilyun (dengan komposisi 70% pinjaman bank dan 30% modal sendiri) dan modal kerja selama 4 bulan sebesar Rp 9,8 milyar (100% pinjaman bank). Sistem ini dapat menghasilkan Diesel FT sebanyak 10,8 juta liter per tahun dan listrik sebesar 160 GWH/tahun. Dengan harga jual yang sama dengan kapasitas sebelumnya, investasi ini memiliki IRR sebesar 12,70% dan NPV setelah 20 tahun sebesar Rp 538 milyar. Investasi tersebut dapat dikembalikan setelah 6,9 tahun.

Untuk jangka panjang, apabila insentif penggunaan EBT terutama yang berupa pengurangan pajak penjualan sudah dapat diterapkan, harga jual produk sistem GBFT dapat dikurangi hingga Rp 6.931/L dan listrik Rp 1.386/kWh. Dengan harga jual tersebut, parameter keekonomian pabrik GBFT yaitu IRR sebesar 16,01% masih dapat dipertahankan.

### Ucapan Terima Kasih

Kajian ini merupakan bagian dari rangkaian kegiatan ‘Penyempurnaan Teknologi Gasifikasi Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif yang Ramah Lingkungan’ yang didanai oleh Tanoto Foundation.

### Daftar Pustaka

1. Hamelinck CN, Faaij APC, den Uil H, Boerrigter H (2003), *Production of FT transportation fuels from biomass; technical options, process analysis and optimization, and development potential*, Netherland Energy Research Foundation ECN and Utrecht University/Science Technology and Society.
2. Karellas S, Karl J, Kakaras E (2008), An innovative biomass gasification process and its coupling with microturbine and fuel cell systems, *Energy* **33**.
3. Laohalidanond K, Jurgen Heil, Christain Wirtgen (Jan-Jun 2008): The Production of Synthetic Diesel from Biomass, *KMITL Sci. Tech. J.*, **Vol 6 No. 1**.
4. Logdberg, Sara (2007), *Development of Fischer-Tropsch Catalyst for Gasified Biomass*, Licentiate Thesis in Chemical Engineering, KTH, Stockholm, Sweden.
5. Milne, T.A., R.J. Evans (1998), *Biomass Gasifier “Tars”: Their Nature, Formation, and Conversion*, National Renewable Energy Laboratory.
6. Peraturan Presiden Nomor. 5 Tahun 2006: Kebijakan Energi Nasional.
7. Pusat Data dan Informasi Pertanian, Departemen Pertanian Republik Indonesia, <http://deptan.go.id>, diakses tanggal 5 Oktober 2009;
8. Stevens, Don J. (2001), Hot Gas Conditioning: Recent Progress With Larger-Scale Biomass Gasification Systems, National Energy Technology Laboratory
9. Tijmensen M.J.A., Andre P.C. Faaij, Carlo N. Hamelinck, Martijn R.M. van Hardeveld (2002), Exploration of the possibilities for production of Fischer Tropsch liquids and power via biomass gasification, *Biomass and Bioenergy* **23**, 129-152.
10. Wu Keng-Tung, Lee Hom-Ti (2008), Bio-hydrogen, *Energy* **33**.
11. Zuberbuhler, Ulrich, Michael Specht, Andreas Bandi (2006), *Gasification of Biomass – An Overview on Available Technologies*, Centre for Solar Energy and Hydrogen Research (ZSW), Germany.